*Ciencia e Ingeniería*
Revista Interdisciplinar de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías.
Año 2016, Julio-Diciembre, Vol. (3) N° (2) ISSN 2389-9484.
Universidad de La Guajira, Facultades de Ciencias Básicas y Aplicadas e Ingeniería.
La Guajira-Colombia.
Revista en Línea http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei




# ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE COAGULANTES PARA LA CLARIFICACION DE LAS AGUAS COMO SUSTITUTO DEL SULFATO DE ALUMINIO

# STUDY OF THE APPLICATION OF COAGULANTS FOR THE CLARIFICATION OF THE WATER AS SUBSTITUTE OF THE ALUMINUM SULPHATE

Natalia Fuentes Molina[1]; Roselis Guerra Benjumea[2]; Carla Patricia Ariza[3]

1. MSc.Ciencias ambientales, Docente Universidad de la Guajira, miembro del grupo Madre tierra nnfuentes@uniguajira.edu.co
2. Ingeniero ambiental, miembro del grupo Madre Tierra
3. 3. MSc. Gestion Ambiental, Docente Universidad de la Guajira, miembro del grupo Giprodes

Recibido: Julio 10 de 2016 Aceptado: Septiembre 25 de 2016

## RESUMEN

Este estudio se realizó con el propósito de evaluar la eficiencia de los coagulantes naturales de origen vegetal moringa oleífera, cactus opuntia, algas marinas y almidón de yuca, para la clarificación de las aguas de consumo humano, como sustituto al sulfato de aluminio. Mediante este estudio se analizaron muestras de agua del rio Cesar ubicado en La Guajira, la recolección se hizo durante el periodo seco y periodo lluvioso, representando aguas de baja y alta turbiedad respectivamente (40,8-800 NTU; 6,87-6,90; 4,76-3,42mg/L; 101,30-71,10 µ/cm; 4062,5-428,50mg/L; 224-64mg/L; 80-45 UC). Cada una de las biomasas seleccionadas en esta investigación fueron sometidas a un previo lavado con algunas sustancias químicas (Ca(OH) 2, CaCL 2 , NaOH y NaCl), así mismo se analizaron con la ausencia de estas sustancias. El sistema bach o prueba de jarras simularon las fases de coagulación y floculación, donde se establecieron revoluciones de 200 y 25 rpm respectivamente. Para cada una de las biomasas se prepararon varias mezclas utilizando dosificaciones de 66, 83 y 1000 mg/L. En cada tratamiento se midieron parámetros físicos- y químicos relevantes en ensayos de coagulación-floculación: color, turbiedad, OD, solidos totales, conductividad DQO y PH. Los resultados revelan una mayor eficiencia con la aplicación de las diferentes sustancias químicas llamadas pre-tratamiento; mientras que la única biomasa que obtuvo mejores resultados con la ausencia de estas fue el cactus. Se determinó los mejores pre-tratamiento, encontrándose que la biomasa moringa reacciona de manera muy eficiente usando Ca(OH) 2 con dosis optima de 66 mg/L, arrojando remociones de 78,88 y 97,72%; el almidón de yuca presento los mejores resultados de turbiedad con NaOH y con dosis optima de 66 mg/L (18,33-79,73%); mientras que las algas tuvo la mejor eficiencia con CaCL 2 , obteniendo las mayores remociones con dosificaciones de 83 y 1000 mg/L (17,17- 81,14%) .A diferencia de todas las biomasas, el cactus presento el mejor rendimiento sin la intervención de ninguno de los pre-tratamientos evaluados, convirtiéndose así en la biomasa más eficiente, Capaz de remover la mayor parte de partículas presentes en el agua (82,90-98,41%) con una dosis optima de 1000 mg/L; logrando demostrar la eficiencia de los coagulantes naturales estudiados.

Palabras clave: coagulantes naturales, tratamiento de agua, sistema batch.

## ABSTRACT

This study was carried out with the purpose of evaluating the efficiency of natural coagulants of vegetable origin moringa oleifera, cactus opuntia, seaweed and cassava starch, for the clarification of waters for human consumption, as a substitute for aluminum sulphate. This study analyzed samples of water from the Cesar River located in La Guajira, during the dry period and rainy season, representing low and high turbidity waters (40.8-800 NTU, 6.87-6, 90; 4.76-3.42mg / L; 101.30-71.10µ / cm; 4062.5-428.50mg / L; 224-64mg / L; 80-45 UC). Each of the biomass selected in this investigation was previously washed with some chemicals (Ca (OH) 2, CaCL 2, NaOH and NaCl), and analyzed with the absence of these substances. The bach system or jug test simulated the coagulation and flocculation phases, where revolutions of 200 and 25 rpm respectively were established. For each of the biomasses several mixtures were prepared using dosages of 66, 83 and 1000 mg / L. In each treatment, physical and chemical parameters were measured in coagulation-flocculation assays: color, turbidity, OD, total solids, conductivity COD and PH. The results reveal greater efficiency with the application of the different chemicals called pre-treatment; while the only biomass that obtained better results with the absence of these was the cactus. The best pre-treatment was determined, and the moringa biomass reacts very efficiently using Ca (OH) 2 at an optimum dose of 66 mg / L, resulting in removals of 78.88 and 97.72%; cassava starch presented the best turbidity results with NaOH and with an optimal dose of 66 mg / L (18.33-79.73%); while the algae had the best efficiency with CaCL 2, obtaining the largest removals with dosages of 83 and 1000 mg / L (17.17-81.14%). Unlike all biomass, the cactus showed the best yield without the intervention of any of the pre-treatments evaluated, thus making the biomass more efficient, able to remove most of the particles present in the water (82.90-98.41%) with an optimal dose of 1000 mg / L ; demonstrating the efficiency of the natural coagulants studied.

**Key words:** natural coagulants, water treatment, batch system

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes problemas afrontados por el mundo es la disponibilidad de agua dulce, ya que esta es vital para la supervivencia de los seres humanos. En el planeta existe una limitación de la disponibilidad de agua dulce. Del 0,8% del agua dulce existente, el 97% son aguas subterráneas y solamente el 3% es agua superficial. Aun así, no siempre esta es apropiada para el consumo humano, haciéndose necesario realizar la remoción de las impurezas presentes para adecuarla a los patrones de potabilidad. El color y la turbiedad son los principales parámetros que se consideran en la evaluación de la calidad de efluentes tratados, siendo indicadores sanitarios y patrones de aceptación del agua para consumo humano (FUNASA, 2006).

Las partículas coloidales que confieren turbiedad y color, sobre todo en aguas naturales, poseen en su mayor parte cargas eléctricas negativas en su superficie, que crean una barrera repelente entre sí, lo que imposibilita su aglomeración. Así, se hace necesario promover la alteración de las características de la superficie de las partículas con la adición de coagulantes, siendo uno de los primeros pasos en el proceso de tratamiento del agua en la entrada del agua bruta de una estación de tratamiento de agua, todas las demás etapas posteriores dependen del éxito de la coagulación.

En el mundo se utiliza como coagulante tradicional el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, llamado comúnmente alúmina, el mismo en países en vías de desarrollo no logra satisfacer la demanda total, debido a esta situación, la disponibilidad de este coagulante químico ha ido en aumento, pero aún no cubre el 100 % de la demanda

total, las cantidades disponibles se utilizan en los acueductos de las grandes ciudades, continuando algunas zonas rurales y periurbanas con escasez de este importante producto coagulante (Muñoz, 2005).

Para determinar la dosis óptima de los agentes químicos empleados en el proceso de coagulación-floculación se utiliza un procedimiento de laboratorio conocido como la prueba de jarras, con esta se determina la dosis de agente más efectiva y económica para una intensidad y duración de mezclado particular, y en ella se utiliza una serie de mezcladores rotacionales de escala laboratorio a fin de conseguir el mezclado uniforme de varias muestras simultáneamente, para que sea posible ajustar hasta igualar los gradientes de velocidad a escala de planta para floculación y mezclado rápido. Debido a que la disociación del agente coagulante produce una serie de reacciones en equilibrio químico, su desempeño depende del pH. En el caso del sulfato de aluminio, la formación óptima de flóculos ocurre en un intervalo de pH entre 6.0 y 8.0 (Schulz y Okun 1998)

Desde el punto de vista ambiental, se ha reportado que en análisis realizados a muestras de aguas potabilizadoras se han encontrado trazas de sulfato de aluminio, lo que indica que el control en cuanto a la adición de esta sustancia no es apropiado, representando así un riesgo potencial para la salud humana Martínez *et al.*, (2003). Bratby (2006) y Colbert (2007); Crapper *et al*., (1973), Martyn *et al.*, (1989), Miller, *et al*., (1984), mencionan que existe una preocupación creciente de la relación entre el aluminio residual y efectos neurológicos adversos, principalmente manifestado en la enfermedad del Alzheimer; alto costo que implica la potabilización y, más aún, el residual de aluminio que pudiera presentar el agua tratada.

A la vista de esta realidad, en años recientes, ha existido un aumento en el interés en el desarrollo de coagulantes naturales alternativos razón por la cual en este trabajo se investigó la eficiencia de alguno coagulantes naturales para comparar la eficiencia con el sulfato de aluminio como el que puede ser extraído de las semillas de Moringa oleifera Lam (MO). Coagulantes naturales de origen vegetal y mineral han sido usados en el tratamiento de aguas antes del advenimiento de productos químicos sintéticos como las sales de aluminio y férricos (Ndabigengesere *et al*., 1995).

Otros polímeros naturales que se han utilizado exitosamente en Inglaterra son la hidroxietil celulosa (HEC) y el "Wisprofloc", derivado del almidón de patata (Schulz y Okun 1998). Qudsieh *et al.*, (2008) sintetizaron un nuevo polímero coagulante de poliacrilamida combinado con almidón de Metroxylun sagu, un material extraído de una palma asiática. El estudio demostró una alta remoción de turbiedad (del 97 %) en soluciones estándar de caolinita. You *et al.* (2009) evaluaron el desempeño de un nuevo agente floculante basado en una mezcla de almidón de maíz y quitosano**.**

## 2. MATERIALES Y METODOS

La investigación se desarrollara en 3 fases las cuales se resumen en: Fase I análisis de las biomasas como coagulantes naturales, Fase II análisis de los pre- tratamientos aplicados a los coagulantes naturales para aumentar eficiencia de coagulación , Fase III determinación de dosis optima y eficiencia de remoción de coagulantes naturales para la clarificación del agua mediante análisis específicos de algunas características físicas

y químicas, todos los ensayo fueron realizados por triplicados con el fin de evaluar las biomasa de Moringa oleifera, Almidón de yuca, Cactus y Algas.
Los ensayos tipo batch se realizan con el fin de estudiar la influencia de variables tales como el pre-tratamiento de la biomasa con diferentes soluciones y el efecto del coagulante natural sobre el cuerpo de agua (Díaz y Arias *et al.*, 2003). Se realizaron 144 ensayos a los que se le hicieron diferentes dosificaciones con el fin de obtener la mejor eficiencia del coagulante.
En la tabla 3. Se muestran algunas referencias bibliográficas de los tiempos de retención, volumen de efluente tratado y concentración de diversas coagulantes naturales empleadas en procesos de clarificación de agua.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los experimentos de prueba de jarras realizados se llevaron a cabo para evaluar la efectividad de las mezclas coagulantes propuestas, que permiten comparar la eficiencia de remoción de partículas suspendidas de las mezclas con base en moringa oleífera, almidón de yuca, cactus opuntia y algas sobre el agua superficial recolectada en el río Cesar ubicado en el municipio de San Juan del Cesar del departamento de La Guajira, donde se seleccionaron los periodos seco y lluvioso para la observación de su comportamiento. Tal efectividad se evaluó bajo criterios comparativos con relación a los resultados obtenidos por la coagulación lograda con el sulfato de aluminio comercial. Cada uno de los coagulantes naturales seleccionados fueron sometidos a un previo lavado con algunas sustancias químicas con el fin de aumentar la efectividad de cada una de estas; estos análisis también se compararon sin la intervención de ninguna sustancia química.

### FASE I: ANÁLISIS DE LAS COAGULANTES NATURALES COMO COAGULANTES NATURALES:

Las condiciones iniciales o previas al tratamiento según los parámetros a evaluar en esta investigación presentaron los siguientes resultados: para el parámetro turbiedad los valores arrojados fueron de 40.8 y 800 NTU para periodos secos y periodos lluviosos respectivamente. Las condiciones iniciales de pH obtenidos del Rio cesar demuestra que su valor se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la normatividad colombiana (Resolución 2115 del 2007) presenciando valores de 6,87 y 6,9 unidades de pH para los dos periodos evaluando, encontrándose que no existe diferencia significativa entre un periodo y otro.

Los resultados de oxígeno disuelto evidencian concentraciones muy bajas para ambos periodos, arrojando valores de 3,42 y 4,76 mg/L. La conductividad para el periodo seco presento un valor bajo en comparación a la presentada en el periodo lluvioso, esto se debe a la poca concentración que solidos totales que se evidencia en el periodo lluvioso ya que existe una relación directamente proporcional entre estos dos parámetro; por lo que se puede decir que a mayor concentración de sólidos, mayor será la conductividad.
Es importante aclarar que los estudios se realizaron para periodos secos y periodos lluviosos, representando a las aguas con baja y alta turbiedad, donde su fin es evaluar el comportamiento en cada uno de los periodos. El color y DQO presentan concentraciones altas en sus parámetros tabla 1.

**Tabla 1.** Condiciones Iniciales del Agua

| AGUA | TURBIEDAD (NTU) | PH | OXIGENO DISUELTO (mg/L) | CONDUCTIVIDAD (μ/cm) | SOLIDOS (mg/L) | DQO | COLOR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SECO | 40,80 | 6,90 | 4,76 | 71,10 | 428,50 | 64 | 45 |
| LLUVIOSO | 800,00 | 6,87 | 3,42 | 101,30 | 4062,50 | 224 | 80 |

**Fuente**: Los Autores

## FASE II: ANÁLISIS DE LOS PRE-TRATAMIENTOS APLICADOS A LAS COAGULANTES NATURALES PARA AUMENTAR EFICIENCIA DE COAGULACIÓN:

En esta etapa se analizó cada uno de los coagulantes naturales seleccionados (Moringa Oleífera, cactus opuntia, Algas Marinas y Almidón de Yuca), sin pre-tratamiento y con pre-tratamiento, esto se llevó a cabo con el fin de demostrar su efectividad como coagulante. Inicialmente cada uno de los coagulantes naturales fueron sometidas a un análisis sin ningún tipo de pre- tratamiento, donde se obtuvo resultados no tan satisfactorios en las concentraciones de los diferentes parámetros evaluados; por tal razón se llega a la conclusión de implementar un pre-tratamiento que consta de un previo lavado con algunas sustancias químicas ($Ca(OH)_2$, $CaCL_2$, NaOH y NaCl), con el objetivo de aumentar la eficiencia en cada una de estas.

En términos generales se logra evidenciar que la mayor efectividad para los coagulantes naturales se presenta durante la implementación de un pre- tratamiento específico, con las diferentes sustancias químicas utilizadas; mientras que uno de los coagulantes naturales evaluados expresan su mejor efectividad sin la implementación de ningún tipo de pre-tratamiento propuesto por esta investigación

**Tabla 2.** Comportamiento de la Turbiedad en Periodo Secos y Lluvioso con las
Distintas Biomasa con y Sin Pre-tratamiento

| TURBIEDAD | BM | | BY | | BC | | BA | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | P1 | P2 | P1 | P2 | P1 | P2 | P1 | P2 |
| $H_2O$ | 10,63±1,61 | 21,17±1,63 | 10,14±2,18 | 28,00±10,58 | 6,98±1,03 | 12,73±1,97 | 16,87±2,00 | 28,80±2,07 |
| $Ca(OH)_2$ | 8,62±2,62 | 18,27±2,51 | 11,54±2,51 | 22,43±2,14 | 12,97±0,81 | 15,23±0,85 | 8,13±1,73 | 28,37±1,31 |
| $CaCl_2$ | 14,03±1,40 | 21,17±3,69 | 12,27±0,42 | 29,67±0,42 | 10,05±1,03 | 15,27±1,07 | 7,69±2,15 | 17,17±0,57 |
| NaOH | 13,30±2,31 | 28,77±5,32 | 8,27±0,75 | 18,33±0,72 | 11,20±0,95 | 28,47±9,07 | 18,43±0,85 | 26,23±0,60 |
| NaCl | 13,47±5,80 | 22,87±0,96 | 9,92±1,46 | 20,00±1,39 | 14,20±3,10 | 21,47±2,21 | 9,31±1,15 | 18,67±2,23 |

**Fuente**: Los Autores

En la tabla 2. se observa el comportamiento de la turbiedad de cada una de las biomasas (Moringa Oleífera (BM), Almidón de Yuca (BY), Cactus Opuntia (BC) y Algas Marinas (BA)).este estudio se llevó a cabo en periodos secos (P1) y periodos lluviosos (P2), con pre-tratamiento ($Ca(OH)_2$, $CaCL_2$, NaOH y NaCl) y sin pre-tratamiento ($H_20$).

Los mejores resultados para la biomasa Moringa Oleífera (BM) se presenta durante la aplicación de $Ca(OH)_2$ , dejando en evidencia su clara reacción frente a este pre-tratamiento. Este resultado se presenta para ambos periodos (P1, P2), donde se obtienen los valores más bajos de turbiedad (8,62 y 18,27 NTU), en comparación con los valores iniciales. Este resultado es respaldado por (Díaz et al., 2004) en su investigación, en donde presenta valores de turbiedad entre 8,90 y 10,50 NTU con una turbiedad inicial de 90 NTU. (Muñoz 2005), revela en sus estudio valores de turbiedad entre 5 y 24 NTU con turbiedad inicial de 54 NTU, valor que se encuentra dentro del rango observado en el periodo lluvioso en el presente estudio.

Para la biomasa Cactus Opuntia (BC) el mejor comportamiento se logra sin ningún tipo de pre-tratamiento ($H_2O$), debido a que el uso de cada uno de los pre-tratamientos seleccionados ($Ca(OH)_2$, $CaCL_2$, NaOH y NaCl) aumenta el valor de turbiedad, dejando en evidencia su reacción negativa en cuanto a su efectividad; este coagulante natural arrojo los valores más bajos de turbiedad (6,98 y 12,73 NTU), convirtiéndose en el más eficiente de todos los coagulantes estudiados en esta investigación. (Martínez y otros, 2003) registran valores de 5 NTU con turbiedades iniciales de 20 a 150 NTU, con lo que se puede decir que los resultados observados para el periodo seco se asemejan significativamente.

Analizando los resultados para la biomasa almidón de yuca (BY) se logra observar un comportamiento positivo utilizando NaOH como pre-tratamiento en periodos secos y lluviosos, registrando los menores y mejores valores de turbiedad (8,27 y 18,33 NTU). Es importante resaltar que con la implementación de Ca (OH)2 y NaCl se obtuvo resultados satisfactorios.

De manera general se puede decir que la biomasa Algas (BA) reacciona positivamente con cada uno de los pre-tratamiento propuestos por esta investigación; no obstante el pre-tratamiento más sobresaliente fue $CaCl_2$, donde se evidenciaron los mejores valores de turbiedad (7,69 y 17,17 NTU). En la se muestra la turbiedad para cada una de las biomasas, con pre-tratamiento ($Ca(OH)_2$, $CaCL_2$, NaOH y NaCl) y sin pre-tratamiento ($H_20$): Moringa Oleífera (BM), almidón de yuca (BY), cactus opuntia (BC) y Algas Marinas (BA). Los estudios se llevaron a cabo en periodos secos (P1) y periodos lluviosos (P2). Las barras representan la magnitud de la turbiedad y las líneas acotadas la desviación estándar por encima de la media figura 1.

.

**Figura 1**. Comportamiento de la turbiedad del agua con los coagulantes naturales.

**Fuente**: Los Autores

## FASE III: DETERMINACIÓN DE DOSIS OPTIMA Y EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE COAGULANTES NATURALES EN SISTEMAS TIPO BATCH:

Después de haber analizado y descrito los mejores pre-tratamientos para cada una de los coagulantes naturales evaluados, se procede a la identificación de la dosis óptima para encontrar la menor turbiedad y así mismo realizar una comparación con los resultados obtenidos de sulfato de aluminio con el fin de determinar su eficiencia. En general, se observa que el coagulante químico removió más turbidez del agua que los coagulantes naturales. Todas los coagulantes naturales evaluados fueron sometidas a diferentes dosificaciones después de un previo lavado con cada uno de los pre-tratamientos seleccionaos para obtener un mayor resultado. Se implementaron tres dosificaciones diferentes con el objetivo de establecer la mejor dosificación para cada una de los coagulantes naturales, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

En la tabla 3 de manera individual se logra observar que el mejor resultado para la biomasa moringa (BM) se presenta con una dosificación de 66 mg/L arrojando los valores más bajo de turbiedad (5,65 NTU, 15,9 NTU) y por ende los más efectivos. Tal

y como se observa, este resultado se presenta para los dos periodos evaluados (P1, P2); de la misma forma se determinó la dosis óptima para el Almidón de Yuca (BY), presentando los mejores resultados con una dosificación de 66 mg/L y arrojando los valores más bajo de turbiedad (7,82NTU, 17,5NTU) para periodos secos y lluviosos respectivamente. Estos resultados muestran un comportamiento similar a los obtenidos por (Ndabigengesere y colaboradores, 1995) quienes reportan que la dosis óptima del coagulante disminuyó proporcionalmente con el incremento de la turbidez para valores entre 200 y 1500 NTU. Ndabigengesere et al. (1995), compararon el rendimiento de los coagulantes sulfato de aluminio e Moringa oleífera y verificaron que los dos coagulantes presentaron dosis óptimos próximas a 50 mg/L .

**Tabla 3.** Comportamientos de Las coagulantes naturales y el sulfato

| TURBIEDAD | BM - $Ca(OH)_2$ | | BY – NaOH | | BC – $H_2O$ | | BA - $CaCl_2$ | | SULFATO | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | P1 | P2 | P1 | P2 | P1 | P2 | P1 | P2 | SP1 | SP2 |
| Dosificación 1 | 5,65 | 15,9 | 7,82 | 17,5 | 8 | 14,2 | 10,1 | 17 | 3,17 | 4,49 |
| Dosificación 2 | 10,6 | 18 | 8,65 | 18,7 | 6,98 | 13,5 | 5,98 | 17,8 | 3,73 | 5,12 |
| Dosificación 3 | 9,6 | 20,9 | 8,34 | 18,8 | 5,95 | 10,5 | 7 | 16,7 | 4,69 | 1,44 |

**Fuente**: Los Autores.

De acuerdo con Schwarz (2000), para aguas con turbiedad a bajo de 50 NTU la banda de dosis de semillas de MO empleado es de 10- 50 mg/L. En este trabajo verificó que para la concentración aproximada de 66 mg/L de MO existe la situación de máxima disminución de turbiedad; (Asrafuzzaman, 2011) utilizo dosis cercanas a las propuestas por esta investigación, en donde se implementó dosificaciones de 50, 60, 70, 80, 90 y 100mg/L; la turbidez del agua utilizada, se tomó como agua de alta turbidez (100 NTU), media turbidez (48 NTU) y baja turbidez (25 NTU).

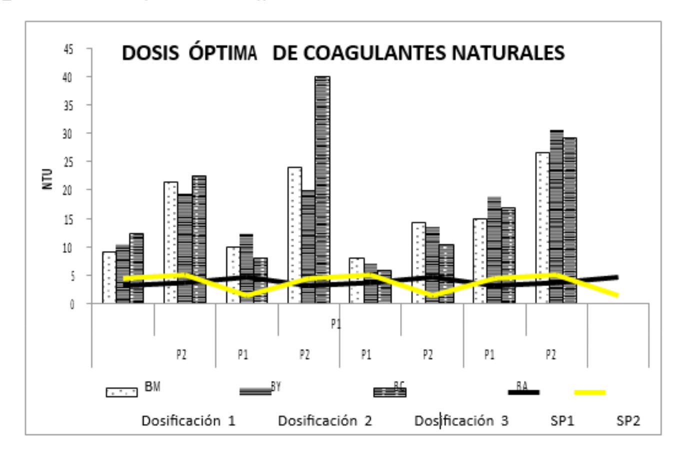
La mejor dosificación que se presentó para la biomasa cactus tuvo una concentración de 1000 mg/L, presentando el valor más bajo de turbiedad (5,95NTU) para el periodo seco; mientras que en el periodo lluvioso la dosis optima fue la misma con un valor de turbiedad de 10,5 NTU. De acuerdo con los resultados arrojados para la biomasa algas se logró determinar que el mejor valor de turbiedad para el periodo seco (P1) fue con una dosificación de 83 mg/L arrojando el valor más bajo de turbiedad (5,98 NTU); mientras que para el periodo lluvioso (P2) su dosis optima se incrementó a 1000 mg/L, con lo que se puede deducir que mientras más turbia este el agua mayor será su dosificación. El valor presentado con la mejor dosificación fue de 16,7 NTU para este periodo (P2).

EL sulfato de aluminio presenta un comportamiento similar al arrojado por la biomasa algas (BA) en donde la turbiedad y la cantidad de dosificación son directamente proporcionales. La dosis optima que se determinó para el periodo seco fue (SP1) de 66 mg/L donde se presentó el valor más bajo de turbiedad (3,17 NTU);

mientras que para el periodo lluvioso (SP2) la dosis se incrementó a 1000 mg/L, arrojando la mejor turbidez (1,44 NTU).

Dentro de los análisis realizados se logró determinar que la biomasa más eficiente y que presentó los valores de turbiedad más cercanos a los arrojados por el sulfato de aluminio fue el cactus; a pesar de que no se implementó ningún tipo de pre-tratamiento para mejorar su efectividad

**Figura 2**. Dosis Óptima de coagulantes naturales




**Fuente**: Los Autores

En la Figura 2**.** se observa el valor de turbiedad con respecto a las diferentes dosis empleadas para cada una de los coagulantes naturales evaluados (Moringa Oleífera (BM), almidón de yuca (BY), cactus opuntia (BC) y Algas Marinas (BA)), donde se compara con los valores de turbiedad implementado sulfato de aluminio para periodos secos (SP1) y lluviosos (SP2); la dosificación 1 tiene un valor 66 mg/L, seguido de la dosificación 2 con un valor de 83 mg/L y finalmente la dosificación 3 representando un valor de 1000 mg/L; todas las muestras se evaluaron para periodos secos (P1) como lluvioso (P2).

La biomasa algas presenta un porcentaje semejante al arrojado por el cactus para el agua de baja turbiedad (P1) removiendo 81,14% y mostrando su potencial eficiencia. Teniendo en cuenta que este proceso lo componen las fases de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Lográndose en las tres primeras etapas la clarificación del agua (Fuentes *et al.,* 2011; Martínez *et al.,* 2003; Parra *et al.*, 2011). Mediante esta investigación se logró demostrar que el cactus opuntia indica que puede ser utilizado como un coagulante primario, porque el porcentaje de remoción de turbidez es superior a 70% que es el indicador (Parra et al., 2011). Fuentes *et al.* (2011) evaluaron la efectividad de un coagulante extraído del cactus Stenocereus griseus en la potabilización del agua. Para ello, prepararon soluciones diluidas Con turbiedades entre 20 y 100 NTU. Después de aplicar las dosis del coagulante, los porcentajes de remoción de turbidez oscilaron entre 14,50 y 80,42%, antes de la simulación de la filtración y entre 69,27 y 96,46%, luego de ello, demostrando la efectividad del coagulante En la potabilización de agua.

Además, es importante resaltar que los resultados de este estudio muestran que al emplear el coagulante natural se logró remover hasta el 82,90 % para el periodo seco y 98,41% para el periodo lluvioso de la turbidez del agua del río Cesar, sin haber simulado la fase de filtración del proceso de potabilización del agua. Estudios realizados en Malawi, para verificar la eficiencia de la semilla de Moringa Oleífera en la remoción de turbidez de agua de pozos profundos utilizados como fuente de agua potable, registraron eficiencias mayores al 90% con turbidez de 49,0 UNT en el agua cruda (Pritchard *et al.*, 2009). Por otra parte, en un estudio realizado en Ghana, tomando agua cruda de un reservorio con una turbidez inicial entre 2 y 23 UNT, se reportó que la semilla de M. Oleífera reduce la turbidez hasta en un 80 %, similar a los resultados obtenidos para el periodo seco (P1) (Amagloh y Benang, 2009).

## 4. CONCLUSIONES

La efectividad de algunos coagulantes naturales se incrementa aplicando pre-tratamiento con algunas soluciones químicas como (($Ca(OH)_2$, $CaCL_2$, NaOH y NaCl); mientras que otras no requieren de ningún tipo de pre-tratamiento para mostrar su potencial como coagulante. El coagulante moringa oleífera demostró su eficacia utilizando $Ca(OH)_2$ como pre-tratamiento, mientras que el almidón de yuca reacciono de manera significativa y favorable con NaOH. Las algas utilizan $CaCL_2$ para presentar sus mejores resultados; no obstante con la utilización de NaCl se logra observar resultados representativos. En cuanto al coagulante natural cactus se obtuvieron los mejores y más eficientes resultados con la ausencia de cada uno de los pre-tratamientos utilizados.

La moringa oleífera y el cactus son más eficientes con aguas de alta turbiedad, mientras que los coagulantes naturales almidón de yuca y algas presentaron mayor eficiencia con agua de baja turbiedad. La moringa presenta remociones altas de solidos totales para aguas de alta turbiedad, mientras que el almidón de yuca, algas y cactus evidencian sus mejores remociones para aguas de baja turbiedad. La moringa a diferencia de todas, es la que remueve más color, superando el 56% de remoción.

Las dosificaciones óptimas para el almidón de yuca y la moringa fueron las mismas ya que obtuvieron los mejores resultados con una concentración de 66mg/L. para el cactus y algas se necesitó dosificaciones muchos mayores para lograr los más eficientes resultados (83 y 1000mg/L). Por tanto, se recomienda como una alternativa para el tratamiento del agua en países en desarrollo.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BRATBY J. (2006) Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment. iwa publishing; 2A ED. 424 P.

COLBERT D. (2007) Los siete pilares de la salud. Casa Cre-ación. EUA, 314 p.

CRAPPER D.R., KRISHNAN S.S., DALTON A.J. Brain aluminium distribution in Alzheimer’s disease and experimental neurofibrillary degenaeration. Science 180 (1973) 511-513.

FUNASA; Manual prático de análise de água. 2edição, 39-79. Fundação Nacional de Saúde, Brasília (2006).

MARTÍNEZ D, MAGALy C, ALTAMIRA D, Elsa C. y Nola F. (2003). Eficiencia del cactus lefaria para su uso como coagulante en la clarificación de aguas. Rev. Téc. Fac. Ing. Univ. (RTFIUZ). 26, 27-33.

MARTYN C.N., BARKER D.J.P., OSMOND C., HARRIS E.C., EDWARDSOn, J.A., LACEY, R.F.;Geographical relation between Alzheimer's disease and aluminium in drinking water. Lancet 1(1989) 59–62.

MUÑOZ, R. S, GARCIA, R. O, MUÑOZ M. R. Empleo de un producto coagulante natural para clarificar agua. Revista CENIC Ciencias Químicas. Cuba. Vol. 36, No. Especial. 2005.

NDABIGENGESERE A., NARASIAH K. S. Influence of operating parameters on turbidity removal by coagulation with Moringa oleifera seeds. Environ. Tech 17 (1996) 1103-1112.

SCHULZ C.R. y OKUN D.A. (1998). Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo. Limusa México, 390 p.

YOU L., LU F., LI D., QIAO Z. y YIN Y. (2009). Preparation and flocculation properties of cationic starch/chitosan crosslinking-copolymer. J. Hazard Mater. 172, 38-45.